

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ****(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21), (22) Заявка: 2009121038/28, 02.06.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
02.06.2009

(45) Опубликовано: 27.12.2010 Бюл. № 36

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: **ТЯГУНОВ Г.В. Установка для измерения  
кинематической вязкости металлических  
расплавов. Ж. "Заводская лаборатория",  
№10, 1980, с.919-920. RU 2349898 C1,  
20.03.2009. SU 1778628 A1, 30.11.1992. SU  
868470 A1, 30.09.1981. JP 56122933 A,  
26.09.1981.**Адрес для переписки:  
620002, г.Екатеринбург, ул. Мира, 19, УрФУ,  
Центр интеллектуальной собственности,  
Т.В.Маркс

(72) Автор(ы):

**Поводатор Аркадий Моисеевич (RU),  
Конашков Виктор Васильевич (RU),  
Вьюхин Владимир Викторович (RU),  
Цепелев Владимир Степанович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

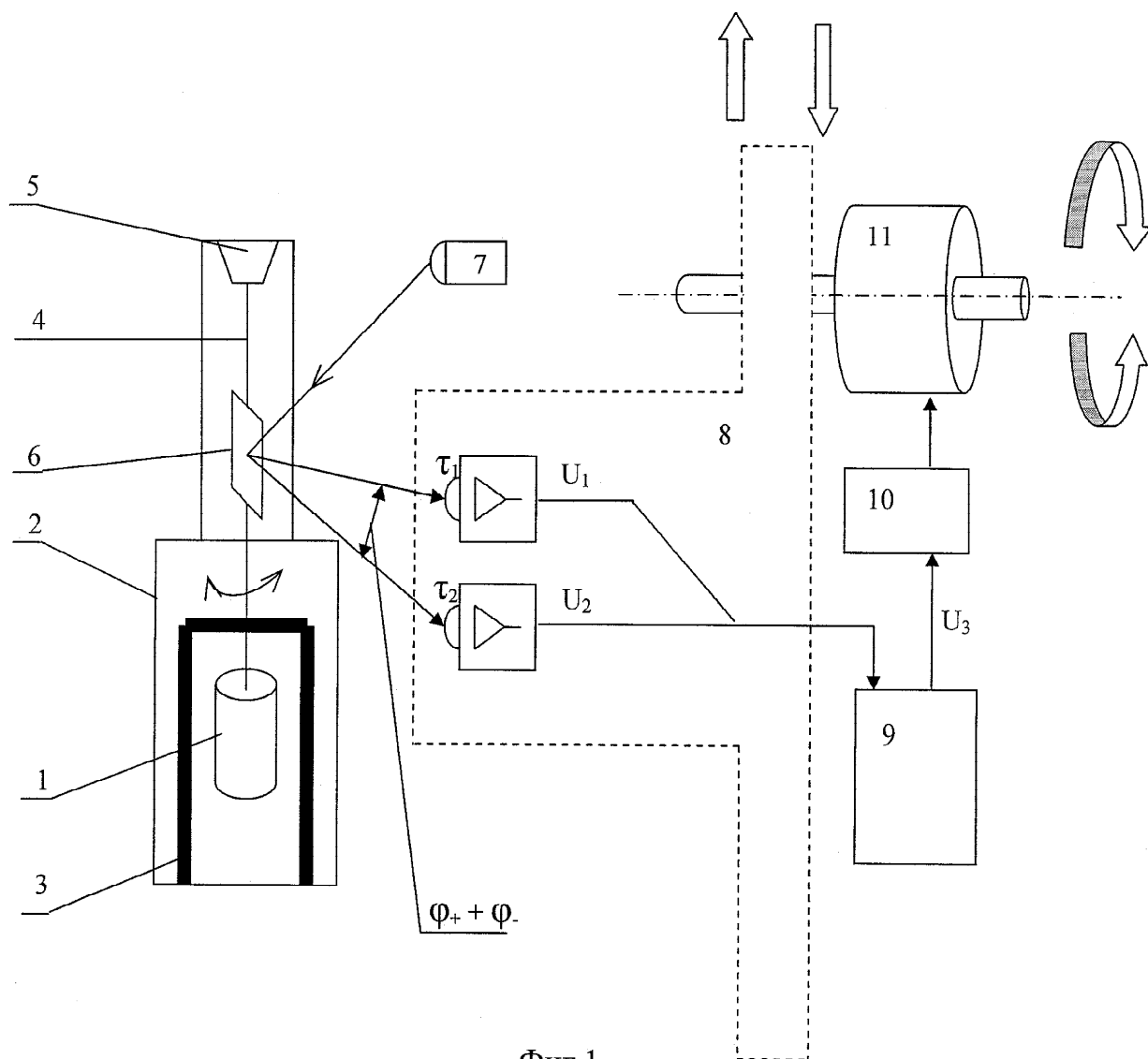
**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Уральский федеральный университет имени  
первого Президента России Б.Н.Ельцина"  
(RU)****(54) СПОСОБ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВЯЗКОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ  
РАСПЛАВОВ**

(57) Реферат:

Предлагаемый способ относится к технической физике, а именно - к устройствам для контроля и измерения физических параметров веществ, и предназначен для бесконтактного измерения вязкости высокотемпературных металлических расплавов, например аморфизирующихся стальных расплавов, нестационарным методом на основе затухания крутильных колебаний цилиндрического тигля с расплавом. Способ бесконтактного измерения вязкости высокотемпературных расплавов основан на освещении световым лучом от источника света зеркала, расположенного на закручиваемой упругой нити, на которой подвешен тигель с расплавом. Затем осуществляют регистрацию посредством фотоприемного устройства параметров траектории светового луча, отраженного от этого зеркала. Далее производят измерение полученного сигнала,

отражающего амплитудно-временные параметры затухания крутильных колебаний тигля с расплавом, подвешенного на упругой нити. Причем в процессе регистрации параметров траектории отраженного от зеркала светового луча периодически осуществляют регулировку смещения текущей нулевой линии - изолинии траектории светового луча, путем поддержания минимального отличия последующих измеряемых параметров колебаний отраженного от зеркала светового луча по отношению к предыдущему значению.

Техническим результатом изобретения является повышение достоверности и точности измерения вязкости высокотемпературных расплавов путем увеличения достоверности, а также точности измерения амплитудно-временных параметров траектории отраженного от зеркала светового луча, используемых для определения





FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21), (22) Application: **2009121038/28, 02.06.2009**(24) Effective date for property rights:  
**02.06.2009**(45) Date of publication: **27.12.2010 Bull. 36**

Mail address:

**620002, g.Ekaterinburg, ul. Mira, 19, UrFU,  
Tsentr intellektual'noj sobstvennosti, T.V.Marks**

(72) Inventor(s):

**Povodator Arkadij Moiseevich (RU),  
Konashkov Viktor Vasil'evich (RU),  
V'jukhin Vladimir Viktorovich (RU),  
Tsepelev Vladimir Stepanovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovaniya "Ural'skij  
federal'nyj universitet imeni pervogo Prezidenta  
Rossii B.N.El'tsina" (RU)**

**(54) PROCEDURE FOR NON-CONTACT MEASUREMENT OF VISCOSITY OF HIGH TEMPERATURE MELT**

(57) Abstract:

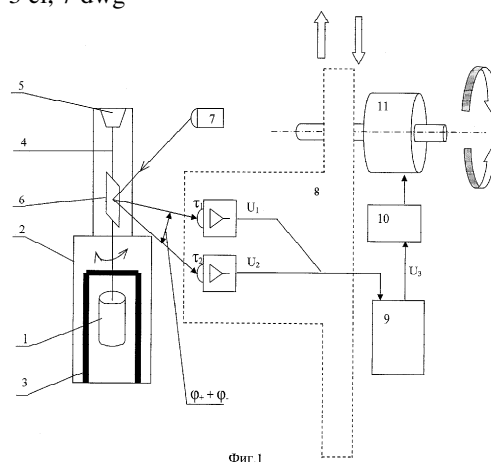
FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: disclosed here procedure refers to devices for control and measurement of physical parametres of substances and is designed for non-contact measurement of high temperature metal melt, for example amorphising steel melt with non-stationary method on base of attenuation of torsion oscillations of cylinder crucible with melt. The procedure of non-contact measurement of viscosity of high temperature melt is based on lightning a mirror with a light beam from a source of light; also, the mirror is positioned on a swirled flexible filament with a suspended crucible containing melt. Further parametres of trajectory of the light beam reflected with this mirror are registered by means of a photo-receiving device. There is measured the received signal reflecting amplitude-time parametres of attenuation of torsion oscillations of the crucible with melt suspended on the flexible filament. Also, in the process of recording parametres of trajectory of light beam reflected from the mirror there is periodically performed control of shift of a current zero line- isoline of trajectory of light beam by means of maintaining minimal difference between

successive measured parametres of oscillations of light beam reflected from the mirror and a preceding value.

EFFECT: raised reliability and accuracy of measurement of viscosity of high temperature melt by increased reliability and accuracy of measurement of amplitude-time parameters of trajectory of light beam reflected from mirror used for determination of logarithm decrement of attenuation of torsion oscillations of crucible with melt.

3 cl, 7 dwg



Предлагаемый способ относится к технической физике, а именно - к устройствам для контроля и измерения физических параметров веществ, и предназначен для бесконтактного измерения вязкости высокотемпературных металлических расплавов, например аморфизирующихся стальных расплавов, нестационарным методом на основе затухания крутильных колебаний цилиндрического тигля с расплавом.

Дополнительной сферой применения являются металлургические процессы, в частности разработка технологических схем формирования заданных параметров наноструктуры, например, в магнитопроводах, путем оптимизации атомно-молекулярных особенностей строения расплава при аморфизации.

Измерение физико-химических параметров металлических жидкостей, расплавов и шлаков, в частности вискозиметрия - определение вязкости высокотемпературных расплавов в образце объемом несколько см<sup>3</sup>, позволяет проводить прогностический анализ материалов и давать рекомендации для получения сплавов с заданными характеристиками на промышленных предприятиях, в частности технологические рекомендации. Полимеры вязкости позволяют выделять характерные температурные точки и гистерезисные характеристики цикла нагрева - охлаждения. Однако для высокотемпературных исследований металлических расплавов при  $t_{пл}=1400^{\circ}\text{C}$  и более, лишь немногие способы измерения вязкости могут быть использованы на практике, в частности нестационарный бесконтактный фотометрический способ определения кинематической вязкости путем измерения параметров затухания (декремента) крутильных колебаний тигля с расплавом, подвешенного на упругой нити - см. Г.В.Тягунов и др. «Установка для измерения кинематической вязкости металлических расплавов», ж. Заводская лаборатория, 1980, №10, с.919.

Известен способ бесконтактного измерения вязкости высокотемпературных расплавов с применением вискозиметра Шенка, основными узлами которого являются: тигель с расплавом, стальная (вольфрамовая, молибденовая, нихромовая) упругая проволоочная нить - подвес, водоохлаждаемая печь с нейтральной атмосферой и с молибденовым бифилярным электронагревателем, зеркало, укрепленное на упругой проволоочной нити, источник света, например лампа или светодиод, фотоприемное устройство, например двухсторонняя фотоизмерительная линейка - шкала с нулем посередине, по которой колебательно движется отраженный от зеркала световой зайчик, электромагнит для закручивания нити и электромагнитный тормоз для демпфирования нежелательных колебаний, - см. С.И.Филиппов и др. «Физико-химические методы исследования металлургических процессов», М., Металлургия, 1968, с.242-243, 254-255, рис.107 - аналог. Расчет искомого декремента затухания  $\delta$  осуществляют по преобразованной формуле - см. Г.В.Тягунов и др. «Установка для измерения кинематической вязкости металлических расплавов», ж. Заводская лаборатория, 1980, №10, с.919-920:

$$\delta = 1/N \ln(A_o/A_n) = 1/N \ln(V_o/V_n) = 1/N \ln(t_n/t_o) \quad [1]$$

где: N - номер колебания;

$A_o, A_n$  - начальная и конечная амплитуды колебаний;

$V_o, V_n$  - начальная и конечная скорости прохождения светового луча между двумя фотодатчиками или точками измеряемых амплитуд;

$t_n, t_o$  - начальное и конечное времена прохождения светового луча между фотодатчиками или заданными точками измеряемых амплитуд.

Недостатком способа является отсутствие долговременной стабильности (дрейф) траектории отраженного светового луча-зайчика по отношению к фотоприемному устройству, в том числе и нулевой точке шкалы, в процессе измерения образца с

расплавом, который длится десятки-сотни мин. В процессе длительного измерения параметров у N крутильных колебаний и соответствующих отсчетов траектории отраженного светового луча для измерения логарифмического декремента затухания не всегда обеспечивается достоверная, точная и объективная трактовка сигнала, отражающего амплитудно-временные параметры затухания крутильных колебаний тигля с расплавом, подвешенного на упругой нити. В частности, в идеальном случае величина  $\delta$  должна быть одинаковой при ее определении по амплитудно-временным параметрам отклонения отраженного светового луча как в одну сторону от нулевой точки шкалы (например, влево), так и симметрично в другую сторону (например, вправо). Однако, в процессе измерений вышеуказанных параметров в них появляется нарастающее с температурой эксперимента смещение (несимметрия) колебаний, т.е. временной дрейф нулевой точки в виде «нулевой линии» (изолинии), что снижает достоверность и точность амплитудно-временных, а в конечном итоге, вискозиметрических параметров высокотемпературных расплавов. Кроме того, уменьшается точность измерений из-за уменьшения N вследствие снижения линейности измеряемых отрезков на смещенной колебательной траектории светового луча в конечной - «хвостовой» части затухающих колебаний, которые могли бы быть использованы при расчете логарифмического декремента затухания. Медленный дрейф траектории отраженного светового луча-зайчика, эквивалентный смещению нулевой линии (изолинии) шкалы фотоприемного устройства по нашим многолетним данным практически непредсказуем и составляет единицы процентов. Он вызван многими трудно учитываемыми причинами, в частности неизбежными термозависимыми механическими деформациями конкретной упругой проволоочной нити, например ее удлинением и изгибом, обусловленными высокотемпературными экспериментами. В частности, осевое смещение светового зайчика, обусловленное удлинением этой нити при температурах расплава  $t_{пл}=400^{\circ}\text{C}$  и более, при которых температура собственно нити составляет сотни  $^{\circ}\text{C}$  и неравномерно распределена вдоль этой нити, по нашим данным составляет минимально единицы процентов.

Известен способ бесконтактного измерения вязкости высокотемпературных металлических расплавов и устройство для его осуществления (варианты), основой которого также является нестационарный бесконтактный фотометрический способ определения кинематической вязкости путем измерения параметров затухания (декремента) крутильных колебаний тигля с расплавом, подвешенного на упругой нити, использующий компьютерное управление измерительным комплексом с автоматической регулировкой амплитуды отраженного от зеркала светового луча в пределах его оптимального значения, - см. пат. РФ №2349898 - аналог. Недостатком этого способа, как и вышеуказанного аналога, является отсутствие долговременной стабильности текущей нулевой линии (изолинии) траектории отраженного светового луча-зайчика по отношению к фотоприемному устройству, в том числе и нулевой точке шкалы, в процессе измерения образца с расплавом - аналог.

Прототипом предлагаемого изобретения является способ бесконтактного измерения вязкости высокотемпературных расплавов, основанный на освещении световым лучом от источника света зеркала, расположенного на закручиваемой посредством шагового электродвигателя упругой нити, на которой подвешен тигель с расплавом, регистрации посредством фотоприемного устройства параметров траектории светового луча, отраженного от этого зеркала, и последующем измерении полученного сигнала, отражающего амплитудно-временные параметры затухания крутильных колебаний тигля с расплавом, подвешенного на упругой нити, - см.

Л.Д.Сон и др. «Установка для измерения вязкости, поверхностного натяжения и плотности высокотемпературных расплавов» - Труды X Российской конференции: Строение и свойства металлических и шлаковых расплавов, т.2, с.47-50, Екатеринбург - Челябинск, 2001 г.

Недостатком данного способа определения вязкости высокотемпературных расплавов, как и для вышеуказанных аналогов, является нарастающее со временем уменьшение достоверности и точности определения параметров траектории отраженного светового луча и, в конечном итоге, амплитудно-временных параметров затухания крутильных колебаний тигля с расплавом из-за отсутствия в процессе измерения долговременной стабильности оптимального положения текущей нулевой линии (изолинии) отраженного от зеркала светового луча (светового зайчика) на входе фотоприемного устройства.

Технической задачей предлагаемого способа является повышение достоверности и точности измерения вязкости высокотемпературных расплавов путем увеличения достоверности и точности измерения амплитудно-временных параметров траектории отраженного от зеркала светового луча, используемых для определения логарифмического декремента затухания крутильных колебаний тигля с расплавом.

Для решения поставленной задачи предлагается способ бесконтактного измерения вязкости высокотемпературных расплавов.

В способе бесконтактного измерения вязкости высокотемпературных расплавов, основанном на освещении световым лучом от источника света зеркала, расположенного на закручиваемой упругой нити, на которой подвешен тигель с расплавом, регистрации посредством фотоприемного устройства параметров траектории светового луча, отраженного от этого зеркала, и последующем измерении полученного сигнала, отражающего амплитудно-временные параметры затухания крутильных колебаний тигля с расплавом, подвешенного на упругой нити, предлагается в процессе регистрации параметров траектории отраженного от зеркала светового луча периодически осуществлять регулировку смещения текущей нулевой линии (изолинии) траектории светового луча, путем поддержания минимального отличия последующих измеряемых параметров колебаний отраженного от зеркала светового луча по отношению к предыдущему значению. Кроме того, осуществляют регулировку смещения траектории светового луча посредством смещения положения фотоприемного устройства или (и) источника света. Кроме того, осуществляют регулировку смещения траектории светового луча через каждые 5...1000 периодов свободных колебаний тигля с расплавом.

Отличительные признаки предложенного технического решения - способа обеспечивают получение достоверной и точной информации об амплитудно-временных параметрах траектории отраженного от зеркала светового луча для определения логарифмического декремента затухания крутильных колебаний тигля с расплавом, а в конечном итоге - повышение достоверности и точности измерения вязкости высокотемпературных расплавов.

Предлагаемое изобретение поясняется чертежами:

фиг.1 - Блок-схема измерительного комплекса;

фиг.2 - Траектория отраженного от зеркала светового луча, соответствующая вращательным колебаниям тигля с расплавом;

фиг.3 - Смещение траектории отраженного от зеркала светового луча;

фиг.4 - Динамика колебаний отраженного от зеркала светового луча в зависимости от ступенчатого цикла нагрева расплава;

фиг.5 - Экспериментальная зависимость вязкости от температуры при нагреве и охлаждении для жаропрочной стали;

фиг.6 - Экспериментальная температурная зависимость смещения отраженного от зеркала светового луча для расплава чистой меди при его нагреве и охлаждении;

фиг.7 - Алгоритм компьютерной обработки измеренных временных интервалов.

Измерительный комплекс для осуществления способа бесконтактного измерения вязкости высокотемпературных расплавов содержит: тигель 1 с шихтой, помещенный в центр высокотемпературной зоны печи 2 с молибденовым цилиндрическим электронагревателем 3 и подвешенный на упругой нити 4, блок поворота подвесной системы на заданный угол для запуска крутильных колебаний 5, зеркало 6, источник света 7, фотоприемное устройство 8, компьютер 9, буферная схема управления 10, исполнительное устройство 11.

Измерительный комплекс для осуществления способа бесконтактного измерения вязкости высокотемпературных расплавов выполнен на следующих элементах: тигель 1 изготовлен из высокотемпературной керамики, молибденовый цилиндрический электронагреватель 3 выполнен из листа толщиной в десятые доли мм, упругая проволочная нить 4 - нихромовая, длиной около 650 мм и диаметром несколько десятых долей мм, электромагнитный блок поворота подвесной системы 5 выполнен с применением шагового электродвигателя - см. вышеуказанное - Л.Д.Сон и др., источник света 7 - сверхъяркий светодиод L7113SEC-H фирмы Kingbright - см. каталог Kingbright, 2005 - 2006; фотоприемное устройство 8, находящееся на фотоизмерительной линейке - шкале с нулем посередине, по которой колебательно движется отраженный от зеркала световой зайчик, может перемещаться по этой линейке и содержит: интегральные фотосенсоры TSL250 фирмы TAOS - см. каталог ELFA-55, 2007, р.812, которые зафиксированы на межцентровом расстоянии (измерительной базе)  $L=6$  мм, симметрично относительно центра шкалы, и оптореле КР293КП2А - см. каталог фирмы «Платан», 2004, стр.202; компьютер 9 - с тактовой частотой выше 100 МГц; буферная схема управления 10 - коммутатор на основе транзисторных ключей или реле - см. Г.Штелинг, А.Байссе «Электрические микромашин», М., Энергоатомиздат, 1991, с.190, рис.7.1, с.202, 203, рис.7.13...7.15; в качестве исполнительного устройства 11 для регулирования смещения траектории отраженного светового луча используют шаговый двигатель - регулятор холостого хода автомобиля ВАЗ 2112-1148300-01(03), механически соединенный, например, с фотоприемным устройством 8.

Способ бесконтактного измерения вязкости высокотемпературных расплавов осуществляют с помощью вышеописанного измерительного комплекса следующим образом.

Тигель 1, содержащий шихту, подвешенный на упругой нити 4, помещают в центр высокотемпературной зоны печи 2, нагревают электронагревателем 3 до требуемой температуры, после чего кратковременным включением блока поворота подвесной системы 5 создают свободно затухающие крутильные колебания тигля 1. Траекторию этих колебаний отслеживают с помощью зеркала 6, расположенного на упругой нити 4, при этом световой луч от источника света 7, отражаясь от зеркала 6, воспроизводит траекторию 12 затухающих крутильных колебаний с периодом  $T$ . В какой-то момент времени  $t_1$  отраженный световой луч 12 попадает на один из фотосенсоров фотоприемного устройства 8, в результате чего на выходе фотоприемного устройства 8 появляется соответствующий сигнал  $U_1$ , который через выходную шину фотоприемного устройства 8 вводится в компьютер 9.  $U_1$  является

стартовым сигналом для компьютерной программы обсчета траектории светового луча 12 - ее амплитудно-временных параметров и дальнейшего вычисления параметров логарифмического декремента затухания по известным формулам. Через некоторое время в момент  $\tau_2$  отраженный от зеркала 6 световой луч 12,

5 повернувшись на угол:  $\varphi=(\varphi_++\varphi_-)$ , засвечивает другой фотосенсор фотоприемного устройства 8, на выходе которого появляется сигнал  $U_2$ . Он, аналогично сигналу  $U_1$ , попадает в компьютер 9 и является стоповым сигналом для вычисления траектории светового луча 12. Минимальное время между передним фронтом этих сигналов:

10 5...15 мсек зависит от размеров фотосенсоров и расстояния между ними: чем оно меньше, тем выше линейность измеряемого отрезка синусоидальной колебательной траектории светового луча 12. Измерительный комплекс обеспечивает измерение временных интервалов колебательной траектории 12, минимальная типовая величина которых десятки миллисекунд, что эквивалентно частотам в десятки-сотни Гц.

15 Тактовая частота компьютера превышает эти параметры на 5...7 порядков, что обеспечивает заполнение тактовыми импульсами, количество которых подсчитывается компьютером 9, временных интервалов между сигналами  $U_1$ ,  $U_2$  для выполнения расчетов с необходимой точностью.

20 Траектория отраженного от зеркала светового луча 12, соответствующая вращательным колебаниям тигля с расплавом, представляет собой затухающие колебания с периодом в единицы сек, например  $T=4$  сек - см. фиг.2. При оптимальном расположении фотосенсоров фотоприемного устройства 8 - симметрично относительно нулевой точки его шкалы, реальной или виртуальной, вычисленной компьютером 9, вычисление 8 по вышеуказанной формуле [1] будет достоверным и точным, вследствие симметрии траектории отраженного от зеркала светового луча 12. В этом случае угловые параметры  $\varphi_+$  и  $\varphi_-$ , или эквивалентные этим углам амплитуды  $A_+$  и  $A_-$  ( $A_++A_-=L=6$  мм), равны и равноудалены от нулевой линии (изолинии) и 25 считаются оптимальными. Соответственно, временные параметры также равны: 13 ( $t_+$ )=14 ( $t_-$ ); 15 ( $\Delta t_+$ )=16 ( $\Delta t_-$ ), что обеспечивает совпадение количества тактовых импульсов компьютера 9, заполняющих соответствующие временные интервалы.

При смещении 17 траектории отраженного от зеркала светового луча 12 в положение 12' - см. фиг.3 возникает неравенство временных параметров 13 ( $t_+$ ) и 14 ( $t_-$ ): 35  $t'_+ \neq t'_-$ . Во время штатной процедуры ступенчатого высокотемпературного нагрева тигля 1 с расплавом, см. фиг.4, быстрый (10 мин нагрев до  $t_{пл}=1400^\circ\text{C}$ ) подготовительный отрезок времени 18 сменяют пошаговым нагревом и охлаждением 19 с дискретностью 30...60°C и временем исследования для одной температурной точки 5...20 мин. На фиг.5 в качестве примера приведена одна из 40 политерм, полученных нами при определении кинематической вязкости  $\nu$  расплава жаропрочной стали. При типовом многочасовом (1...10 часов) эксперименте у вышеуказанных параметров траектории отраженного от зеркала светового луча 12 появляется медленно нарастающее с температурой эксперимента различие: 13 $\neq$ 14, 45 15 $\neq$ 16 ( $t_+ \neq t_-$ ,  $\Delta t_+ \neq \Delta t_-$ ). Если вычисления  $\delta$  по вышеуказанной формуле [1] осуществляют раздельно на основе 13 ( $t_+$ ) и на основе 14 ( $t_-$ ), то результаты не совпадают. Например, во время проведенного нами (21.04.2009 г.) четырехчасового эксперимента с расплавом жаропрочной стали в процессе нагрева до, примерно,  $t_{пл}=1500^\circ\text{C}$  за 15 мин и последующим шагом в 30...60°C каждые 10...30 мин, вплоть до 1800°C, сразу 50 при 1500°C проявилось и стало нарастать вышеуказанное различие. Через 2 часа эксперимента относительное неравенство временных параметров 13 ( $t_+$ ) $\neq$ 14 ( $t_-$ ) достигло 11% и затем сохранялось, примерно, на этом же уровне. Расчет декремента



затухания  $\delta$  по каждому из параметров 13 ( $t_+$ ) $\neq$ 14 ( $t_-$ ) в отдельности показал различие  $\delta_{13}$  и  $\delta_{14}$  в 4,2%. Расчет  $\delta$  на базе усредненной величины:  $\{(t_+)+(t_-)\}/2$

продемонстрировал уменьшение достоверности и точности результатов вычислений из-за увеличения среднеквадратичной ошибки (стандартного отклонения). В процессе пошагового охлаждения, обратного нагреву, смещение 17 траектории отраженного от зеркала светового 12 луча (которое может быть выражено в виде равноценных терминов: «несимметрия», «амплитудный сдвиг», «дрейф изолинии») уменьшилось и в данном эксперименте практически исчезло к концу эксперимента. Для исключения влияния на результаты разных компонентов расплава экспериментально исследована температурная зависимость смещения траектории отраженного от зеркала светового луча для однокомпонентного немагнитного расплава чистой меди, при его нагреве и охлаждении, которая приведена на фиг.6. Общее время эксперимента - 1,5 часа.

Смещение 17 траектории отраженного от зеркала светового луча 12 в данном эксперименте при охлаждении не уменьшилось. Это подтверждает предположение о практической непредсказуемости термозависимости смещения 17 траектории отраженного от зеркала светового луча 12. Смещение 17 в данном случае, по абсолютной величине - 4...5 мм, в сравнении с колебательным размахом амплитуд  $A_+$  и  $A_-$ , равным в начале экспериментов сотни мм, составляет единицы %, но при небольшом межцентровом расстоянии (измерительной базе) фотосенсоров фотоприемного устройства 8 ( $L=6$  мм) составляет относительную величину в десятки % и даже может выйти за пределы измерительной базы.

Смещение 17 траектории отраженного от зеркала светового луча 12 по амплитуде тождественно соответствует неравенству соответствующих временных параметров  $13\neq 14$ ,  $15\neq 16$  ( $t_+\neq t_-$ ,  $\Delta t_+\neq \Delta t_-$ ). Компьютер 9, в соответствии с алгоритмом, приведенным на фиг.7, вычисляет их разность, с учетом знака смещения, после чего преобразует ее в регулирующий сигнал  $U_3$ , который включает исполнительное устройство 11 через буферную схему управления 10. Параметр  $k$  на фиг.7 - коэффициент перевода разности времен в количество шагов исполнительного устройства 11, обратно пропорциональный тактовой частоте компьютера 9; функция INT обозначает округление к ближайшему целому (недробному) значению. Регулировку оптимального смещения траектории отраженного от зеркала светового луча 19 осуществляют в трех вариантах: первый - регулирование смещения фотоприемного устройства 8, второй - источника света 7, третий - зеркала 6. Конструктивно предпочтителен первый или второй варианты. При необходимости осуществляют ручную регулировку смещения 17 траектории отраженного от зеркала светового луча 12, например, путем смещения закрепленного на двухсторонней фотоизмерительной линейке - шкале с нулем посередине, по которой колебательно движется отраженный от зеркала световой зайчик, фотоприемного устройства 8, например, с помощью микрометрического винта (не показано). Исполнительное устройство 11 регулирует смещение фотоприемного устройства 8 таким образом, чтобы оптимизировать - уравнивать соответствующие временные параметры:  $13=14$  ( $t_+=t_-$ );  $15=16$  ( $\Delta t_+=\Delta t_-$ ). При этом амплитудное смещение 17 траектории отраженного от зеркала светового луча 12 стремится к нулю. Регулирование смещения фотоприемного устройства 8 осуществляют периодически, 1 раз за 10...1000, оптимально за 100...200 периодов вращательных колебаний тигля с расплавом.

Предложенное техническое решение, содержащее вышеуказанную совокупность отличительных признаков, а также совокупность ограничительных и отличительных признаков, не выявлено в известном уровне техники, что, при достижении

вышеописанного технического результата, позволяет считать предложенное техническое решение имеющим изобретательский уровень. Это техническое решение обеспечивает технический результат - повышение достоверности и точности измерения вязкости высокотемпературных расплавов.

5

#### Формула изобретения

1. Способ бесконтактного измерения вязкости высокотемпературных расплавов, основанный на освещении световым лучом от источника света зеркала, расположенного на закручиваемой упругой нити, на которой подвешен тигель с расплавом, регистрации посредством фотоприемного устройства параметров траектории светового луча, отраженного от этого зеркала, и последующем измерении полученного сигнала, отражающего амплитудно-временные параметры затухания крутильных колебаний тигля с расплавом, подвешенного на упругой нити, отличающийся тем, что в процессе регистрации параметров траектории отраженного от зеркала светового луча периодически осуществляют регулировку смещения текущей нулевой линии - изолинии траектории светового луча, путем поддержания минимального отличия последующих измеряемых параметров колебаний отраженного от зеркала светового луча по отношению к предыдущему значению.
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что осуществляют регулировку смещения траектории светового луча посредством смещения положения фотоприемного устройства или источника света.
3. Способ по п.1, отличающийся тем, что осуществляют регулировку смещения траектории светового луча через каждые  $5 \div 1000$  периодов свободных колебаний тигля с расплавом.

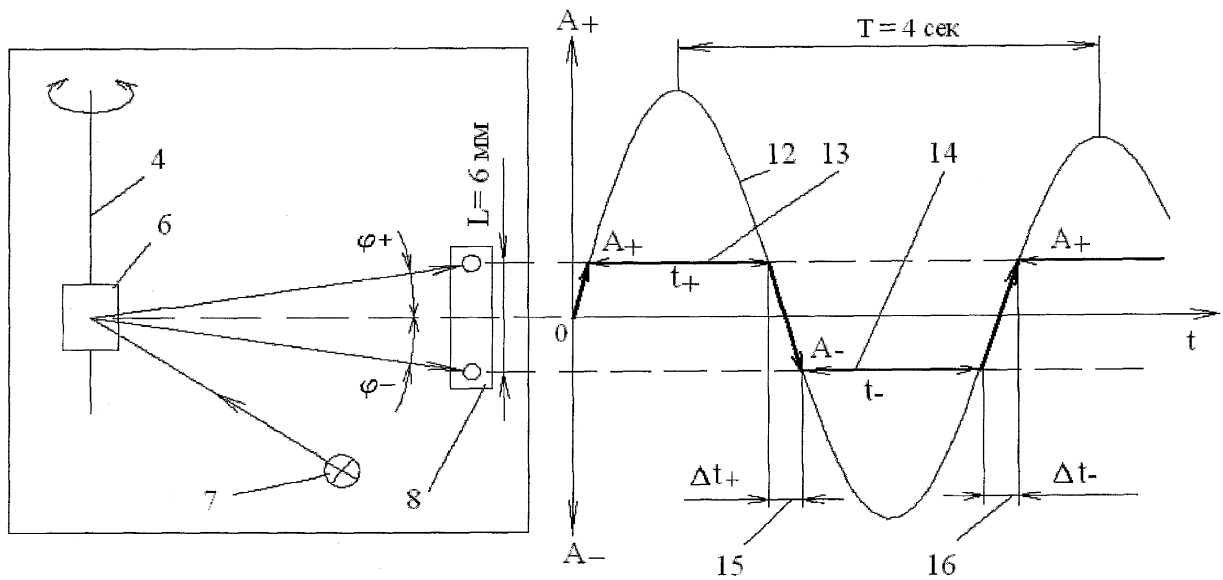
30

35

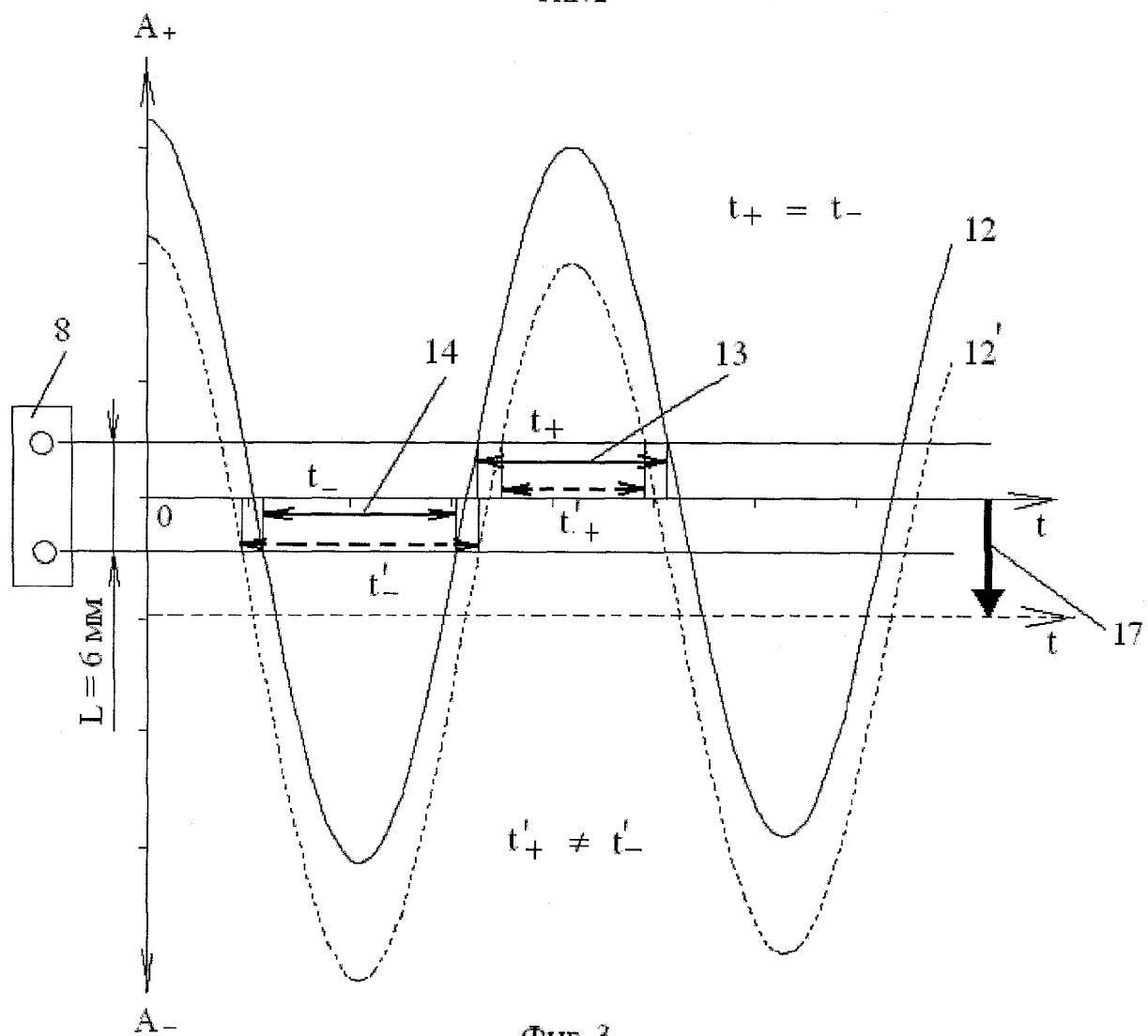
40

45

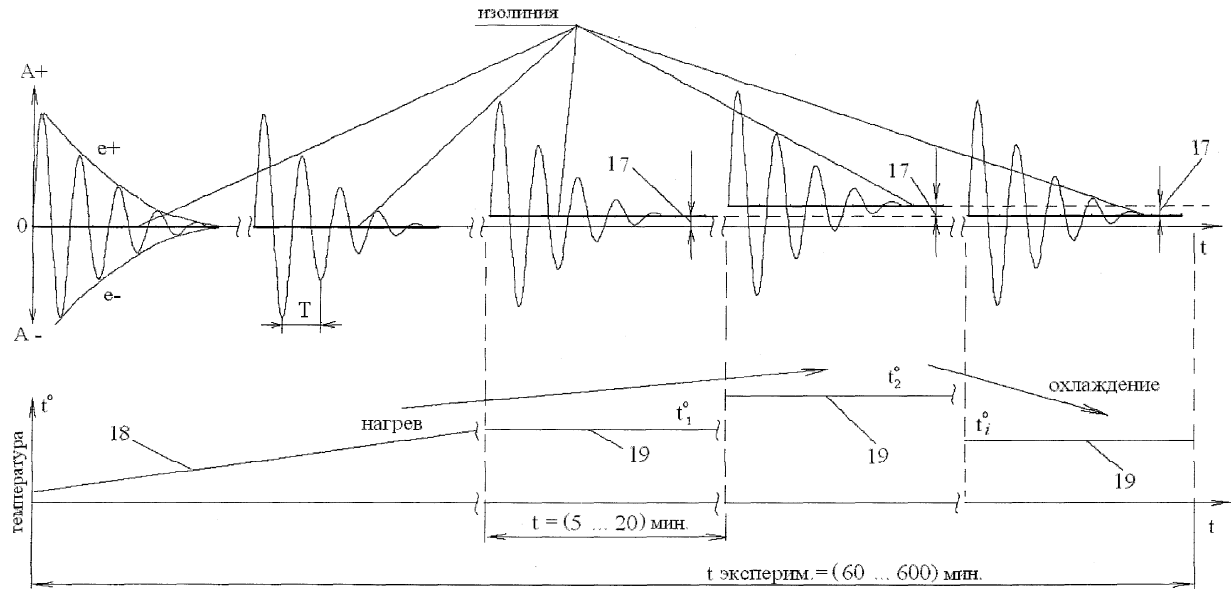
50



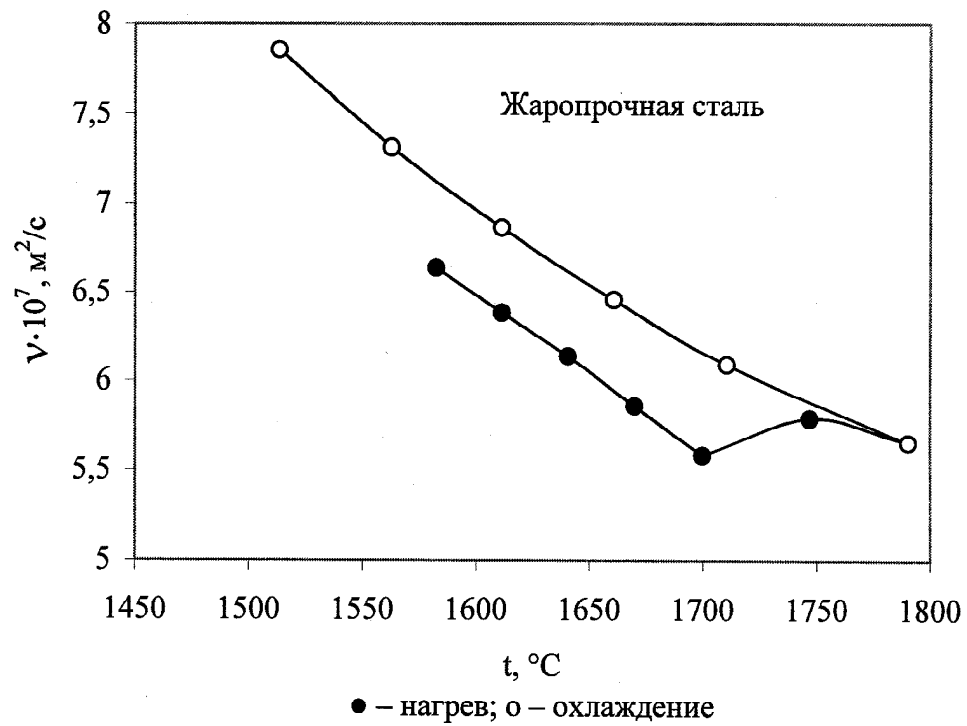
Фиг. 2



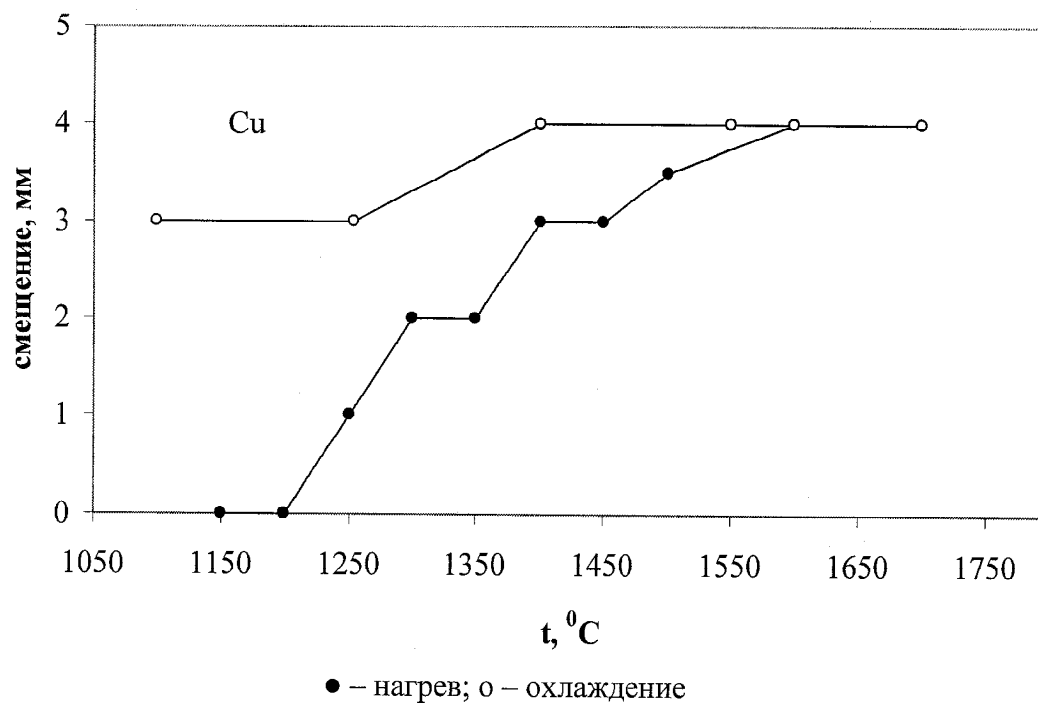
Фиг. 3



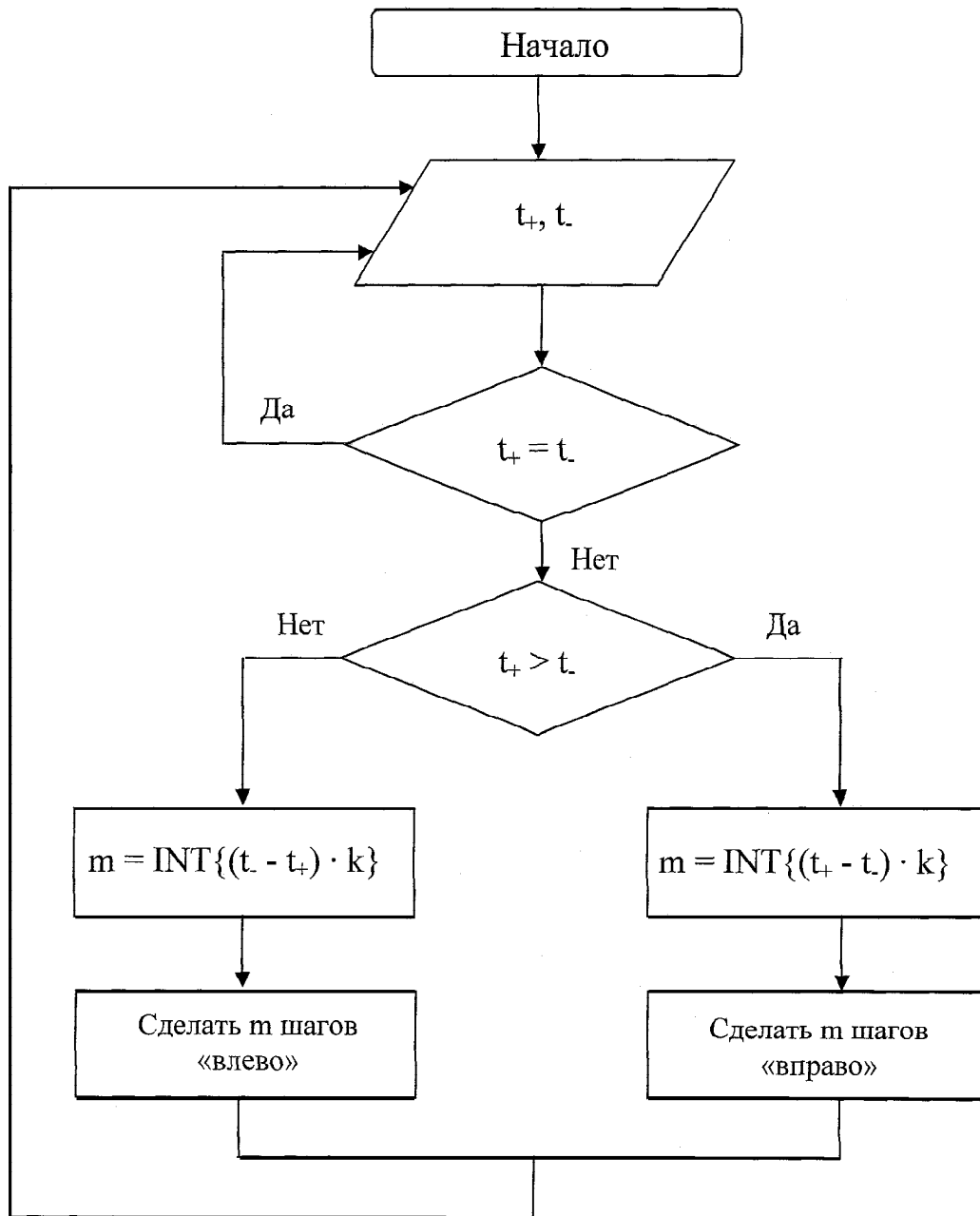
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг.6



Фиг.7